Untersuchung über die Wirkung schräggestellter sphärischer Brillengläser an emmetropischen und ametropischen Augen und Vergleichung dieser Wirkung mit der Wirkung cylindrischer Gläser.

Inaugural-Dissertation

verfasst und der

Hohen medizinischen Fakultät

der

Universität Rostock

zur

Erlangung der Doctorwürde

vorgelegt

von

G. Heinrich,
approb. Arzt
aus Fuhrberg.

Rostock.
Universitäts-Buchdruckerei von Adler's Erben.
1890.

Referent: *Prof. Dr. Berlin.*

Die nachfolgende Arbeit ist die Behandlung der im Jahre 1889 von Herrn Prof. v. Zehender als Preisaufgabe der medizinischen Fakultät zu Rostock gestellten Preisaufgabe. Ich konnte die Arbeit aber nicht als Preisaufgabe einsenden, da ich vor Beendigung derselben mich Examens halber exmatrikulieren lassen musste. In Folge dessen habe ich mich entschlossen, die Arbeit als Dissertation zu verwerten.

Thomas Young veröffentlichte im Jahre 1793 seine Untersuchungen über Astigmatismus, an welchem er selber litt. Zu gleicher Zeit machte er auch schon Angaben über die Brechung von Strahlen, welche durch eine schräggestellte sphärische Trennungsfläche hindurchgingen, indem er zeigte, dass die Strahlen in diesem Falle nicht alle in einem Brennpunkte zur Vereinigung kämen, ähnlich wie bei nicht symmetrischen, brechenden Flächen. In der auf Refraktionsanomalien und Dioptrik bezüglichen Litteratur der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts habe ich weitere Angaben über diesen Punkt nicht gefunden. Im Jahre 1862 beschäftigte sich G. Quincke (Berliner Monatsbericht 1862, pag. 501) wieder mit der Frage, indem er für zwei Linsen die Brennweiten p_1 und p_2 bei schiefer Incidenz experimentell ermittelte. Eine Berechnung der beiden Hauptbildpunkte bei schiefer Incidenz auf eine Linse führte G. Krech im Jahre 1863 aus.[1]) Daran schloss sich

[1]) De luminis fascibus infinite tenuibus disquisitiones. Berolini 1863.

im Jahre 1864 eine Arbeit von Dr. Kugel[1]); derselbe berechnete mit Zugrundelegung der Formeln von Thomas Young einen Brennpunkt für ein unendlich dünnes, in vertikaler Ebene auffallendes Strahlenbündel und einen Brennpunkt für ein unendlich dünnes, in horizontaler Ebene auffallendes Strahlenbündel. Dabei fand er, dass der Brennpunkt für die vertikalen Strahlen näher an der Linse lag als der für die horizontalen, wenn die Linse um ihren horizontalen Durchmesser gedreht wurde. Seine Formel für die Grösse der Brennweite lautet:

$$\text{Für die horizontalen Strahlen} = \frac{(n-1)\cos\alpha^2}{n\cos\beta-\alpha} f,$$

$$\text{für die vertikalen Strahlen} = \frac{(n-1)\,f}{n\cos\beta-\cos\alpha}.$$

Mit Hülfe dieser Formeln berechnete Kugel die Wirkung schräggestellter sphärischer Brillengläser, indem er den Winkel, um den die Gläser schräggestellt waren, als identisch mit dem Einfallswinkel annahm, diese Annahme ist aber nur für die im Centrum oder nahe demselben auffallenden Strahlen gültig, denn für die weiter am Rande auffallenden Strahlen ist der Einfallswinkel bedeutend grösser als der Drehungswinkel. Experimentell corrigierte Kugel dann seinen zusammengesetzten hypermetropischen Astigmatismus durch schräggestellte sphärische Gläser.

Ein Thema, welches ebenfalls den Durchgang schräg auffallender Strahlen durch eine Linse behandelt, wurde von Prof. Berlin im Jahre 1869 erörtert.[2])

---

[1]) Über die Wirkung schief vor's Auge gestellter sphärischer Brillengläser beim regelmässigen Astigmatismus; Graefe's Archiv für Ophthalmologie pag. 89.

[2]) Über den Einfluss starker Convexgläser auf das excentrische Sehen. Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde, Jahrgang 1869, pag. 361.

Derselbe zeigte, dass beim Tragen starker Convexgläser ein zonulärer Gesichtsfeldausfall für den betreffenden Patienten entstehen müsse, wenn nämlich, da der Rand einer Convexlinse dieselbe Brechkraft hat wie ein mit der Kante nach aussen gerichtetes Prisma, die Brechkraft dieses Randes so stark ist, dass schräg auffallende Strahlen über den entgegengesetzten Rand der Pupille hinaus gebrochen werden. Im Jahre 1874 führte L. Hermann[1]) eine ganz genaue Berechnung der beiden Hauptbildpunkte bei schiefer Incidenz aus, sowohl erstens bei sphärischer brechender Fläche als auch zweitens bei Linsen, deren Dicke vernachlässigt werden darf und drittens bei Linsen, deren Dicke nicht vernachlässigt werden darf. Er berechnet in allen Fällen zuerst den Vereinigungspunkt eines im vertikalen Meridian auffallenden Strahlenbündels und nennt ihn den ersten Hauptbildpunkt und dann den Vereinigungspunkt eines im horizontalen Meridian auffallenden Strahlenbündels und nennt ihn den zweiten Hauptbildpunkt. So fand er bei sphärischer, brechender Fläche die erste Bildstrecke (Abstand des 1. Hauptbildpunktes von der brechenden Fläche):

$$f_1 = \frac{\frac{r}{n}(n^2 - \sin^2\varphi)}{\sqrt{n^2 - \sin^2\varphi} - \cos\varphi - \frac{r}{e}\cos^2\varphi}$$

und den zweiten Hauptbildpunkt:

$$f_2 = \frac{n.\ r.}{\sqrt{n^2 - \sin^2\varphi} - \cos\varphi - \frac{r}{e}},$$

worin φ den Einfallswinkel des sog. Leitstrahles, r den Radius der Trennungsfläche und e die Ent-

[1]) Über schiefen Durchgang von Strahlenbündeln durch Linsen und darauf bezügliche Eigenschaft der Krystalllinse. Zürich 1874.

fernung des Objektpunktes vom Einfallspunkte bedeutet. Daraus folgt, dass die erste Bildstrecke kleiner ist als die zweite, und zwar gehen in der Entfernung, wo die vertikalen Strahlen zur Vereinigung kommen, alle übrigen Strahlen durch eine Linie, welche dem horizontalen Durchmesser der Linse parallel und gleichgerichtet ist und deren Länge durch den Abstand der äussersten Strahlen des noch nicht vereinigten Strahlenbündels bestimmt ist. Diese Linie nennt Hermann die erste Brennlinie. Die Entfernung der zweiten Bildstrecke ist bestimmt durch die Entfernung des Vereinigungspunktes der horizontalen Strahlen, dieselbe steht aber senkrecht gerichtet, und ist ihre Länge durch die beiden äussersten schon wieder divergierenden Strahlen des vertikalen Strahlenbündels bestimmt. Die weiteren Berechnungen für die Bildpunkte bei Linsen, deren Dicke vernachlässigt werden darf, und bei Linsen, deren Dicke nicht vernachlässigt werden darf, sind so komplizierter Art, dass ich auf eine Wiedergabe derselben verzichte, zumal sie sich auf die beiden obigen Formeln aufbauen und auch zu ähnlichen Resultaten führen.

Von Prof. Matthiessen erschien 1883 ein kurzer Aufsatz in Graefe's Archiv, der den Titel führt: „Über die Form der astigmatischen Bilder sehr kleiner gerader Linien bei schiefer Incidenz der Strahlen in ein unendlich kleines Segment einer brechenden Fläche." Hierin giebt der Verfasser kurz die Lage und Entfernung der Bilder an, wenn das leuchtende Objekt ein Punkt oder eine Linie ist. Eine sehr ausführliche Abhandlung, die auch dieses Thema berührt, hat derselbe Autor in neuester Zeit unter dem Titel: „Beiträge zur Dioptrik der Krystalllinse" veröffentlicht.[1]) Kurz nachdem jener erste Auf-

[1]) Zeitschrift für vergleichende Augenheilkunde, Jahrgang 1889, pag. 118.

satz von Matthiessen erschien, hatte Prof. von Zehender auf der Versammlung der ophthalmologischen Gesellschaft zu Heidelberg im Jahre 1883 den von ihm erfundenen Astigmometer gezeigt und daran die Bemerkung geschlossen, dass man bekanntlich „durch schräg gehaltene sphärische Gläser die Wirkung cylindrischer Gläser erzielen resp. aufheben kann". An diesen Vortrag anknüpfend, veröffentlichte derselbe Autor im Jahre 1888 einen Aufsatz, betitelt: „Zwei Bemerkungen zur Brillenfrage",[1]) dessen Inhalt kurz folgender ist: Um jenen 1883 von ihm ausgesprochenen Satz auf seine Richtigkeit genauer zu prüfen, hatte der Verfasser an seinen 1883 angegebenen Astigmometer einen kleinen Nebenapparat anbringen lassen. Derselbe enthält ein um seine horizontale Axe drehbares Brillengestell, in welches sphärische Gläser eingesetzt werden können; durch diese Vorrichtung war es ausführbar, dass „der Grad der Schrägstellung einer sphärischen Linse mit dem Grade der cylindrischen Wirkung verglichen werden konnte. Auf solche Weise fand v. Zehender, dass jedes in das Ocular vorgelegte ∓ Cylinderglas durch jedes in die Brillenfassung eingelegte ± sphärische Glas bei einem sehr genau bestimmbaren Grade die Schrägstellung corrigirt werden konnte", und schliesst daran die Bemerkung: „Hiermit war funktionell der Beweis geliefert, dass Astigmatismus — wenn er durch Cylindergläser corrigierbar ist — auch durch schräg gestelltes phärische Gläser corrigierbar sein muss." Um den Gang, welchen Lichtstrahlen durch schräg gestellte sphärische Gläser nehmen, zu demonstrieren, fertigte derselbe Autor seine Fadenmodelle an, die auf der Naturforscher-

[1]) Klinische Monatsblätter für Ophthalmologie, Jahrgang 1888, pag. 393.

Versammlung zu Berlin 1886 ausgestellt waren.[1]) Als zweite Bemerkung schliesst v. Zehender etwa Folgendes an: Es ist sehr vielen Augen durch das Tragen von Brillen, die wohl meist nicht parallel der Frontalaxe stehen, Gelegenheit geboten, die dadurch hervorgerufene Ungleichheit der Brechung überwinden zu müssen, um deutlich sehen zu können. Diese Überwindung kann wohl nur durch den sog. dynamischen oder akkommodativen Linsen-Astigmatismus geschehen; wenn nun, woran wohl nicht zu zweifeln, diese Akkommodationsanomalie constant werden kann, so ist die Möglichkeit vorhanden, dass ein Mensch durch das Tragen schräg stehender Brillen astigmatisch werden kann; als Beispiel führt v. Zehender seinen eigenen Astigmatismus an, den er auf solche Weise erworben, und den er für akkommodativen Linsen-Astigmatismus erklärt.

Durch Prof. v. Zehender veranlasst, versuchten Dr. Ahrens und Cand. med. Ahrens die Wirkung cylindrischer Gläser durch längeres Hindurchsehen zu überwinden[2]), d. h. sie versuchten, ob ihre Augen im Stande wären, durch partielle Contraction des Ciliarmuskels die in den verschiedenen Meridianen des Glases ungleiche Brechung der Strahlen zu annullieren. Es gelang diesen Beobachtern, die Wirkung von 1,75 D concav-cylindrisch nach längerem Hindurchsehen zu überwinden, so dass sie alsdann die Linien eines Fadenkreuzes in beiden Meridianen gleich deutlich sahen; denselben Effekt hatten sie, wenn sie durch schräg gestellte sphärische Gläser sahen, denn auch in diesem Falle waren die Linien des Fadenkreuzes zuerst in einem Meridian undeut-

---

[1]) Klinische Monatsblätter für Ophthalmologie, Jahrgang 1888, pag. 394 und 395.

[2]) Neue Versuche über anisomorphe Akkommodation. Klinische Monatsblätter, Jahrgang 1889, August-Heft.

lich, wurden aber bei längerem Hindurchsehen in beiden Meridianen gleich deutlich. Die beiden Beobachter bemerken aber ausdrücklich, dass nach einiger Zeit angestrengten Fixirens heftige Kopf- und Augenschmerzen auftraten.

An diese Versuche reihen sich die meinigen an; dieselben sind, wie aus dem Vorhergesagten hervorgeht, keineswegs als neu in ihrer Art aufzufassen, sondern sind nur lange, zusammenhängende Versuchsreihen, wie sie vorher noch nicht gemacht sind.

Die Arbeit zerfällt in zwei Haupttheile, von denen der erste die Prüfung schräg gestellter sphärischer Gläser, sowohl der biconcaven als der biconvexen an emmetropischen und ametropischen (myopische, hypermetropische und astigmatische) umfasst, während der andere die Vergleichung der dabei gefundenen Resultate mit der Wirkung cylindrischer Gläser in sich schliesst.

Zu den Untersuchungen bediente ich mich des von Prof. v. Zehender angegebenen Astigmometers. Vor dem 91 cm langen cylindrischen Rohre ist ein kleiner Apparat angebracht, der die Form eines Rechteckes hat; in dieses Rechteck ist ein Gestell eingefügt, in welches die Gläser eines Brillenkastens hineinpassen. Dieses Gestell kann um seine horizontale Axe gedreht werden, wobei ein an diese Axe angebrachter Zeiger die Zahl der Grade anzeigt, um welche das Brillengestell gegen die horizontale Ebene geneigt ist. Der Punkt, an welchem das eingesetzte Brillenglas zu den Fadenkreuzen des Astigmometers parallel steht, ist mit O bezeichnet.

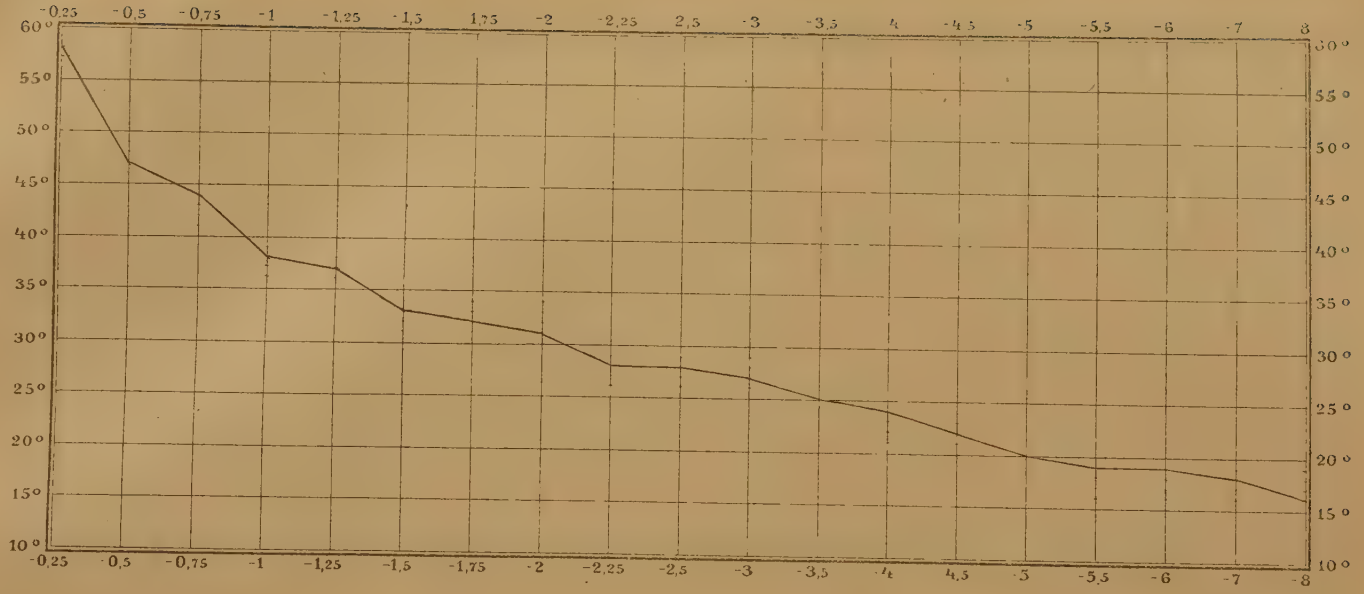
Ich setzte in diesen eben beschriebenen Apparat zuerst biconcave Gläser ein und drehte dieselben mit der horizontalen Axe des Gestelles nach vorn und nach rückwärts, wobei der erwähnte Zeiger das Maass der Drehung auf dem graduierten Halbkreise anzeigte.

Drehte ich nun das Brillenglas um seine horizontale Axe, so zeigte sich, dass bei einer bestimmten Schrägstellung die horizontalen Linien undeutlich wurden. Indessen war es sehr schwer, ja unmöglich, diesen Punkt ganz genau zu bestimmen; um aber trotzdem eine möglichst grosse Genauigkeit zu erzielen, machte ich die Drehung dreimal, je nach oben und nach unten und nahm von diesen sechs Resultaten den Durchschnitt; denn es muss selbstverständlich der Winkel, an dem die Undeutlichkeit auftritt, derselbe sein, gleichviel ob derselbe oberhalb oder unterhalb der horizontalen Ebene liegt. Aber es stellte sich ferner dabei heraus, dass die von einem Emmetropen gefundenen Resultate nicht genau mit denen eines anderen übereinstimmen, weil auch bei emmetropischen Augen die Akkommodationsstärke nicht immer gleich ist. Infolgedessen liess ich die Beobachtungen von fünf Emmetropen machen und nahm von den dabei gefundenen Resultaten den Durchschnitt.

Die Undeutlichkeit trat nur bei den horizontalen Linien auf, während die vertikalen stets deutlich blieben; dieses Verhalten erklärt sich daraus, dass die von den vertikalen Linien kommenden Strahlen, welche überhaupt noch in das schräggestellte Glas eintreten konnten, nach ihrem Austritt aus demselben in derselben Ebene divergierten, so dass sich die Bildpunkte der einzelnen Objektpunkte, aus denen man sich eine Linie zusammengesetzt denken kann, aneinander reihen und zu einer Bildlinie ergänzen müssen. Die Strahlen indessen, welche von den horizontalen Linien kommen und parallel dem ungebrochenen Axenstrahl einfallen, gelangen in horizontaler Ebene zu dem Glase und werden nach ihrem Austritt aus demselben in einer Ebene gebrochen, welche mit der ursprünglichen horizontalen

Bogen I.

Curve 1.



Einfallsebene einen Winkel bildet. Wird dieser Winkel gross, d. h. wird die Divergenz der horizontalen Strahlen so bedeutend, dass die Akkommodation dieselbe nicht mehr zu überwinden vermag, so müssen die horizontalen Linien undeutlich erscheinen. Es erleiden also die Strahlen, welche von den horizontalen Linien kommen, im Grunde genommen eine Verschiebung über resp. unter ihre ursprüngliche Einfallsebene, d. h. eine Prismawirkung.

−0,25	−58°
−0,5	−47°
−0,75	−44°
−1	−38°
−1,25	−37°
−1,5	−33°
−1,75	−32°
−2	−31°
−2,25	−28°
−2,5	−28°
−3	−27°
−3,5	−25°
−4	−24°
−4,5	−22°
−5	−20°
−5,5	−19°
−6	−19°
−7	−18°
−8	−16°

Um die erhaltenen Resultate anschaulicher zu machen, habe ich dieselben graphisch darzustellen gesucht. (Siehe Bogen I, Curve 1.) Diese Curven zeigen, dass, je kleiner die Brennweite des schräg gestellten Glases war, desto geringer die Drehung bis zum Punkte der Undeutlichkeit der horizontalen Linien war und umgekehrt.

Ich begann jetzt mit dem Einsetzen von biconvexen Gläsern in das drehbare Brillengestell. Hierbei fiel mir sofort auf, dass der Übergang von der Deutlichkeit zur Undeutlichkeit ein viel plötzlicherer war als bei den biconcaven Gläsern, und war deshalb ein genaueres Einstellen möglich. Ich drehte die Gläser um ihre horizontale Axe, und trat dann eine Undeutlichkeit nur bei den horizontalen Linien auf, während die vertikalen stets deutlich blieben. Auch bei diesen Gläsern war der Winkel, um den die Gläser gedreht werden mussten, bis eine Undeutlichkeit der Linien im horizontalen Meridian auftrat, um so kleiner, je geringer die Brennweite der gedrehten Gläser war. Als ich in der Reihe der Ver-

suche an das Glas + 1,25 D kam, fiel mir auf, dass beim Einstellen desselben auf O (parallel den Fadenkreuzen) eine Undeutlichkeit der vertikalen Linien eintrat; dieselbe blieb noch bestehen, wenn ich das Glas nur wenig drehte, während die horizontalen Linien dabei ganz deutlich waren. Drehte ich aber das Glas noch weiter, so wurden die vertikalen wieder ganz deutlich und die horizontalen undeutlich. Dieser Punkt ist der in den nebenstehenden Angaben angegebene. Meine eben angeführte Beobachtung wurde von den anderen Beobachtern bestätigt; es lag also kein Beobachtungsfehler vor, vielmehr ergiebt sich die Erklärung aus den oben angeführten Untersuchungen Hermann's, nach welcher die Bildlinie der vertikalen Strahlen (zweite Bildlinie) in derselben vertikalen Ebene liegt, während die Bildlinie der horizontalen Strahlen (erste Bildlinie) nicht in derselben horizontalen Ebene, sondern über resp. unter derselben liegt, je nachdem das Glas nach oben oder unten gedreht ist. Somit ist eine Verzerrung des Bildes der vertikalen Strahlen kaum wahrnehmbar, da die Bildpunkte der einzelnen Objektpunkte sich eng aneinander reihen, während die Bilder der einzelnen Objektpunkte der horizontalen Linien stark über oder unter die horizontale Ebene verschoben werden. Diese Verschiebung, die optisch den Wert einer Divergenz hat, muss durch die Akkommodation aufgehoben werden. Die Akkommodation, d. h. stärkere Krümmung der Linse, wird in unserem Falle aber nur in einem Meridian verlangt, im horizontalen, und deshalb auch nur in diesem ausgeführt. Dass eine solche partielle Akkommodation, die auf einer partiellen Thätigkeit des musculus ciliaris beruht, aber möglich ist, wird jetzt wohl allgemein zugegeben. Man hat für dieselbe den schon oben angeführten Ausdruck dynamischer

oder akkommodativer Linsenastigmatismus gebraucht. Diese Frage wurde von Javal auf dem 1888 stattgefundenen Heidelberger Congress und in den Annales d'oc. Tome erörtert; ebenso haben sich Landsberg[1]) und Dobrowolsky[2]) damit beschäftigt, und in letzter Zeit Prof. Berlin[3]), der sich folgendermassen ausdrückt: „Der Ciliarmuskel contrahiert sich nicht immer gleichmässig in seiner ganzen Ausdehnung, sondern er ist zu lokaldifferenten Contraktionen befähigt — innerhalb der präformierten anatomischen und physiologischen Grenzen —, welche er nach Bedürfnis, d. h. im Interesse der Erzeugung möglichst scharfer Netzhautbilder ausübt". Somit hatte sich unsere Linse im horizontalen Meridian stärker gekrümmt als im vertikalen. Diese Ungleichheit in der Berechnung verschwindet aber nicht gleich wieder (siehe die oben angeführten Versuche von R. und A. Ahrens), und somit musste bei einer senkrechten oder annähernd senkrechten Stellung des Glases das umgekehrte Verhalten eintreten, d. h. die vertikalen Linien mussten undeutlich und die horizontalen Linien deutlich erscheinen. Dasselbe zeigte sich bei den nächsten Gläsern auch noch, bis bei + 2 D die Linien in beiden Meridianen weder bei einer senkrechten noch bei einer schrägen Stellung deutlich zu sehen waren, ein Zeichen, dass wir nicht mehr im Stande waren, die stark convergent gemachten Strahlen auf unserer Netzhaut in einem Punkte zu vereinigen.

+0,25	−53°
+0,5	−43°
+0,75	−37°
+1	−32°
+1,25	−28°
+1,5	−24°
+1,75	−22°

[1]) v. Graefe's Archiv XXVII, pag. 89 u. ff.

[2]) Beilage zu den Klinischen Monatsblättern für Augenheilkunde 1868, pag. 51.

[3]) „Über ablenkenden Linsenastigmatismus und seinen Einfluss auf das Empfinden von Bewegungen." Wiesbaden 1887.

Auch die Resultate dieser Versuche habe ich graphisch dargestellt, siehe Bogen I, Curve 2.

Ich begann jetzt mit den Versuchen an myopischen Augen. Da mir aber nicht für jeden Grad der Myopie ein Beobachter zu Gebote stand, und andererseits vorauszusehen war, dass auch bei gleichen Myopen die Resultate verschieden sein würden je nach der Akkommodationsstärke des betreffenden Beobachters, so machte ich mich selbst durch vorgesetzte Sammellinsen zum Myopen, um auf diese Weise ein einheitliches, übersichtliches Bild von der Wirkung schräggestellter Zerstreuungsgläser auf die verschiedenen Grade der Myopie zu bekommen. Zum Beweise aber, dass die so gefundenen Resultate auch für natürliche myopische Augen gelten, habe ich die Einstellungen von einigen Myopen machen lassen; die so erhaltenen Resultate folgen unten. Durch Schrägstellen von Sammellinsen bei Myopie in einem Meridiane deutliches Sehen zu erzielen, ist unmöglich, so dass diese Versuche nicht zu machen waren.

Zustatten kam mir bei diesen Versuchen meine eigene Myopie des rechten Auges von 1 D, so dass bei diesen künstlich erzeugten Graden der Myopie doch ein natürlich myopisches Auge die Beobachtungsgrundlage bildete.

Ich fing damit an, dass ich eine Myopie von 2 D herstellte, indem ich vor mein myopisches Auge von 1 D noch eine Sammellinse von 1 D setzte. Dieses vorgesetzte Glas in ein Brillengestell zu setzen und so die Beobachtungen zu machen, schien nicht angebracht, weil ein solches Gestell doch nie oder nur sehr selten senkrecht zu den einfallenden Lichtstrahlen steht, ein Umstand, der die Schrägstellung des Zerstreuungsglases stark beeinflussen musste, so dass die erhaltenen Resultate nicht genau werden konnten. Ich setzte deshalb die Sammellinse

an die Stelle des Astigmometers, wo an das cylindrische Rohr der rechteckige Apparat anstösst, und setzte alsdann in die horizontale drehbare Axe des rechteckigen Apparates Zerstreuungsgläser von 0,25 bis 8 D.

	+2	+2,5	+3	+3,5	+4	+5	+6	+7	+8
— 0,25	55	60	65	70	70	75	—	—	—
— 0,5	45	50	60	60	65	65	70	—	—
— 0,75	40	45	55	55	57	60	65	70	—
— 1	35	40	45	50	51	55	60	64	66
— 1,25	30	35	42	45	47	52	56	60	63
— 1,5	25	31	37	40	43	48	53	57	60
— 1,75	20	27	31	37	40	46	52	55	60
— 2	40	22	30	32	36	41	47	53	55
— 2,25	35	20	25	28	31	39	45	50	53
— 2,5	33	39	20	25	26	36	43	49	51
— 3	31	31	36	20	23	34	39	46	49
— 3,5	30	28	34	31	20	29	35	41	46
— 4	30	25	31	29	30	25	31	39	43
— 4,5	29	24	29	27	29	20	28	36	40
— 5	27	23	27	25	27	28	24	34	36
— 5,5	25	23	25	22	26	25	20	30	31
— 6	23	20	24	20	23	23	25	26	27
— 7	20	17	22	20	20	20	22	20	24
— 8	16	16	18	19	19	20	20	21	20

Auf diese Weise fand ich, dass bei senkrechter Einstellung, d. h. auf O die Linien in beiden Meridianen undeutlich waren, wenn das biconcave Glas sehr schwach war — wenn es 1,5 D schwächer

war als der Grad der Myopie betrug —; drehte ich aber dann das Zerstreuungsglas um seine horizontale Axe, so wurden, wenn das Zerstreuungsglas schwächer war als der Grad der Myopie, die horizontalen Linien an einem Punkte ganz deutlich, und zwar war die Schrägstellung, bei der die Deutlichkeit auftrat, um so grösser, je hochgradiger die Myopie war und je grössere Brennweiten die gedrehten Zerstreuungsgläser hatten. Kam ich nun bei dem Vorsetzen der verschiedenen Zerstreuungsgläser zu demjenigen, welches dem betreffenden Grade der Myopie entsprach, so sah ich naturgemäss die Linien bei senkrechter Stellung des Glases gleich deutlich. Diese Deutlichkeit blieb beim Schrägstellen nur im vertikalen Meridian bestehen, während die horizontalen Linien an einem Punkte undeutlich wurden. Setzte ich dann noch stärkere Zerstreuungsgläser vor, so konnte ich bei der senkrechten Stellung derselben noch immer alle Linien deutlich sehen, weil die Akkommodation die so bewirkte Divergenz leicht überwand, bei einer Schrägstellung aber wurden die horizontalen Linien an einem Punkte undeutlich, und zwar um so eher, je mehr die vorgesetzten Zerstreuungsgläser den Grad der Myopie übertrafen.

Dieses Resultat erklärt sich daraus, dass die durch das vorgesetzte Sammelglas stark convergent gemachten Strahlen, die auf das zu drehende Zerstreuungsglas fielen, erst wieder weniger convergent gemacht werden mussten, bevor sie auf der Netzhaut vereinigt werden konnten, dieses geschah zum Teil durch das Zerstreuungsglas. War das Zerstreuungsglas schwächer als der Grad der Myopie, so musste die noch erforderliche geringere Convergenz der Lichtstrahlen erreicht werden durch das Zerstreuungsglas an sich + Schrägstellung desselben. Die Schrägstellung, welche durch Drehung um die horizontale

Axe erreicht wurde, bewirkte aber nur im horizontalen Meridian eine wahrnehmbare Divergenz (beziehungsweise schwächere Convergenz, siehe Seite 11), folglich konnten nur die horizontalen Linien beim Schrägstellen deutlich werden. War die Myopie eine hochgradige und das vorgesetzte Zerstreuungsglas ein schwaches, so müsste die Schrägstellung eine bedeutende sein; wurde bei demselben Grade der Myopie ein stärkeres Zerstreuungsglas genommen, so machte dieses die Convergenz der Strahlen schon sehr viel geringer und die Schrägstellung brauchte nur unbedeutend zu sein. Kam nun in der Reihe der Versuche das Zerstreuungsglas zur Anwendung, welches dem Grade der Myopie entsprach, so mussten alle Linien bei der senkrechten Stellung des Glases deutlich erscheinen; erfolgte aber eine Drehung des Glases, so trat allein die Wirkung dieser Drehung in Kraft, welche die Strahlen, die von den horizontalen Linien kamen, stark divergent machte, so dass, wenn die Akkommodation nicht mehr im Stande war, diese divergierenden Strahlen auf der Netzhaut zu vereinigen, die horizontalen Linien undeutlich erscheinen mussten, während die vertikalen deutlich blieben.

Um die so gefundenen Resultate anschaulicher zu machen, habe ich dieselben auf Bogen II graphisch dargestellt. Der mit ganzen Linien gezogene Teil der Curve zeigt die Versuche an, welche gemacht wurden, bis die horizontalen Linien deutlich zu sehen waren, d. h. die Versuche, bei denen Zerstreuungsgläser zur Anwendung kamen, die schwächer waren, als der Grad der Myopie; während der mit durchbrochenen Linien gezogene Teil der Curve die Versuche darstellt, welche die horizontalen Linien an einem Punkte undeutlich erscheinen liessen, d. h. die Versuche, bei denen Zerstreuungsgläser verwendet wurden, die stärker oder ebenso stark waren, als der Grad der Myopie.

Ich füge hier die Versuche an, die ich mit natürlichen Myopen machte, welche eine reine Myopie besassen; denn diese unkomplizierte Refraktions-Anomalie musste unbedingt gefordert werden, wenn die Versuche hierher passen sollten. Leider ist es aber bei Leuten, welche eine stärkere Myopie längere Zeit durch Gläser korrigiert haben, fast möchte ich sagen eine Seltenheit, dass dieselben sich ihre unkomplizierte Myopie bewahrt haben, vielmehr sind sie fast alle mehr oder minder astigmatisch geworden, zumal die Träger von Pincenez.[1]) Dieses musste ich leider bei meinen Versuchen erfahren, denn ich fand unter meinen zahlreichen myopischen Versuchspersonen nur zwei mit reiner Myopie. Die Resultate der Einstellungen, welche diese beiden Myopen vornahmen, stimmen mit meinen an künstlich myopischen Augen gefundenen überein, denn die erhaltenen geringen Abweichungen sind wohl als Beobachtungsfehler zu erklären. Somit glaube ich, dass meine erste Versuchsreihe vollkommene Beweiskraft besitzt für die Schrägstellung biconcaver Brillengläser bei myopischen Augen.

	−2,5	−4
−0,25	61	72
−0,5	51	65
−0,75	46	59
−1	39	54
−1,25	34	52
−1,5	31	50
−1,75	26	43
−2	20	40
−2,25	19	34
−2,5	40	28
−3	33	25
−3,5	30	20
−4	28	35
−4,5	26	30
−5	25	25
−5,5	24	23
−6	22	20
−7	20	19
−8	19	18

Es folgten jetzt die Versuche an hypermetropischen Augen. Auch bei diesen machten sich dieselben Bedenken geltend wie bei denen mit myopischen Augen in Bezug auf das Anstellenlassen der Versuche von verschiedenen Beobachtern, und machte

[1]) „Zwei Bemerkungen zur Brillenfrage". v. Zehender, Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde, Jahrgang 1888, p. 401.

ich also von denselben Gründen wie dort geleitet mich selbst durch vorgehaltene Zerstreuungsgläser zum Hypermetropen, Auch diese Gläser setzte ich an die Berührungsstelle des cylindrischen Rohres mit dem viereckigen Apparat, welcher die drehbare horizontale Axe trägt, um die Ungenauigkeiten auszuschalten, welche bei dem Einsetzen der Zerstreuungsgläser in ein Brillengestell unvermeidlich gewesen wären. Auf diese Weise kam ich zu folgenden Resultaten:

Das Auge überwand die Divergenz der Lichtstrahlen, welche durch die vorgesetzten Zerstreuungsgläser hervorgerufen wurde, leicht. Wurde dann eine Sammellinse in senkrechter Stellung in die drehbare Axe gesetzt, so geschah diese Überwindung durch das Auge um so leichter, weil durch die senkrecht gestellte Sammellinse nur die Divergenz der Strahlen geringer gemacht resp. ganz aufgehoben wurde. Führte ich aber eine Drehung der Sammellinse um die horizontale Axe aus, so wurden die horizontalen Linien an einem Punkte undeutlich, und zwar war der Winkel, um welchen die Drehung erfolgen musste, bis zu diesem Punkte der Undeutlichkeit um so grösser, je stärker der Grad der Hypermetropie war und je schwächer die gedrehte Sammellinse war. — Durch vorgesetzte und gedrehte Zerstreuungsgläser bei Hypermetropie in irgend einem Meridian ein deutlicheres Sehen zu erreichen, ist unmöglich, so dass diesbezügliche Versuche nicht zu machen waren.

Die so gefundenen Resultate erklären sich auf folgende Weise: Wie oben gesagt, überwand das Auge die den Grad der Hypermetropie bewirkenden Zerstreuungsgläser bis zu 8 D ohne Mühe. Das gedrehte biconvexe Glas hob die durch jene Gläser bewirkte Divergenz bei den vertikalen Strahlen bald ganz auf und machte sie sogar convergent, beides

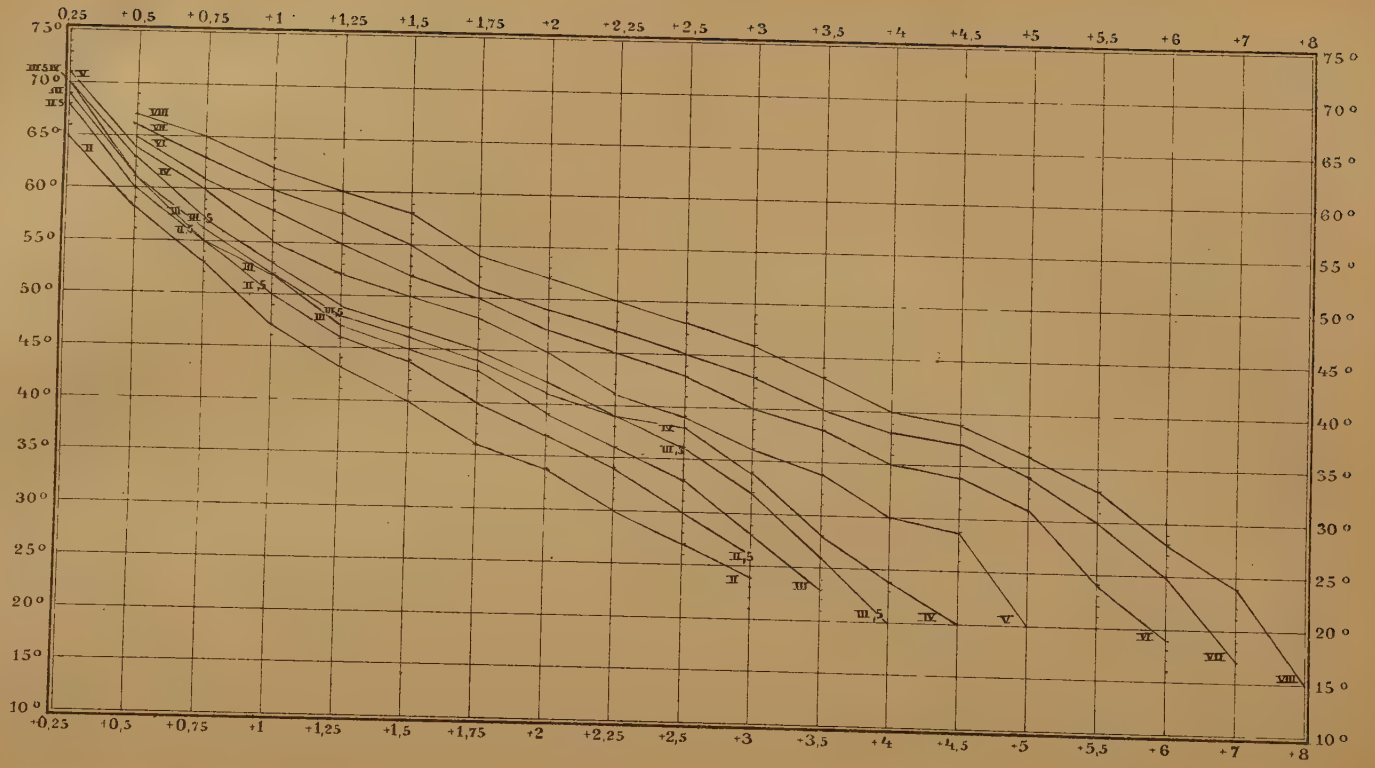
ist aber für das Auge nicht wahrnehmbar, da die Bildlinien der vertikalen Linien in einer Ebene mit den Objektlinien liegen (siehe oben Seite 12); bei den horizontalen Strahlen aber rief die Drehung des biconvexen Glases eine Prismawirkung hervor, d. h.

	−2	−2,5	−3	−3,5	−4	−5	−6	−7	−8
+ 0,25	65	68	69	70	70	71	—	—	—
+ 0,5	58	60	61	61	63	64	65	66	67
+ 0,75	53	55	55	56	57	60	61	63	65
+ 1	47	50	52	52	53	55	57	60	62
+ 1,25	42	46	47	48	49	52	55	58	60
+ 1,5	40	43	45	46	47	50	52	55	58
+ 1,75	36	40	42	44	45	48	50	51	54
+ 2	34	37	39	41	42	45	47	49	52
+ 2,25	30	34	36	39	39	41	45	47	50
+ 2,5	27	30	33	36	37	39	43	45	48
+ 3	24	26	28	32	33	36	40	43	46
+ 3,5	—	—	23	26	28	34	38	40	43
+ 4	—	—	—	20	24	30	35	38	40
+ 4,5	—	—	—	—	20	29	34	36	39
+ 5	—	—	—	—	—	20	31	34	36
+ 5,5	—	—	—	—	—	—	24	30	33
+ 6	—	—	—	—	—	—	19	25	28
+ 7	—	—	—	—	—	—	—	17	24
+ 8	—	—	—	—	—	—	—	—	15

eine Verschiebung unter oder über die horizontale Ebene; wenn nun diese Verschiebung so stark wurde, dass das Auge sie nicht mehr überwinden konnte, so mussten die horizontalen Linien undeutlich erscheinen.

Bogen III.

Curve 4.



Bedeutend stärkere Sammellinsen, als der Grad der Hypermetropie betrug, anzuwenden, war nicht möglich, weil das Auge die so erreichte Convergenz nicht mehr überwinden konnte. Von der Hypermetropie von 5 D waren die Linien schon in beiden Meridianen undeutlich, wenn ich die nächst höhere Nummer der Sammelgläser in senkrechter Stellung anwandte, und musste deshalb von dem Vorsetzen stärkerer Sammellinsen, als der Grad der Hypermetropie betrug, bei den höheren Graden der Hypermetropie abgesehen werden. Auch die bei diesen Versuchen gefundenen Resultate habe ich graphisch dargestellt auf Bogen III, Curve 4.

Bei allen bis jetzt angestellten Versuchen wurde das corrigierende Glas stets um die horizontale Axe gedreht, und lag es nahe, die Drehung auch um die vertikale Axe auszuführen; indessen müssen die Resultate, welche man auf diese Weise erhalten würde, vollständig mit den ersten übereinstimmen, wenn man in der ganzen Abhandlung an Stelle „horizontale Axe" und „horizontale Linien" immer „vertikale Axe" und „vertikale Linien" setzte. Einige angestellte Controllversuche bestätigten dieses auch vollkommen, und schien es mir daher unnöthig, dahin zielende weitere Versuche anzustellen.

Somit ging ich zu den Versuchen an astigmatischen Augen über; da aber hierbei eine noch grössere Schwierigkeit entstanden wäre, wenn ich zu jedem Grade und jeder Art des Astigmatismus einen zuverlässigen Beobachter hätte suchen wollen, so hielt ich es, um übersichtliche Resultate zu bekommen, für das Beste, mich selbst durch vorgehaltene Cylindergläser zum Astigmatiker zu machen. Wie bei den früheren Versuchen, setzte ich das Glas, welches die Refraktionsanomalie erzeugen sollte, an die Berührungsstelle des rechteckigen Apparates mit dem langen Rohr des Astigmometers.

Die nothwendige Folge dieser so angestellten Versuche ist, dass dieselben ebensowohl zu dem ersten Teil der Aufgabe, d. h. zur Prüfung schräggestellter sphärischer Gläser an emmetropischen und ametropischen Augen, als zum zweiten Teil derselben, welcher die Vergleichung schräggestellter sphärischer Gläser mit cylindrischen Gläsern betreffs ihrer Wirkung umfasst, zu rechnen sind. Es ist dieses nicht anders denkbar, wenn man eben keine natürlich astigmatischen Augen in genügender Zahl zur Verfügung hat, und ausserdem wird das Resultat dasselbe sein, ob ich, so lange es sich um regelmässigen Astigmatismus handelt — und der unregelmässige Astigmatismus gehört nicht in den Bereich dieser Arbeit — ein natürliches astigmatisches Auge oder ein emmetropisches Auge mit vorgehaltenem Cylinderglas verwende; denn ich kann mir jeden regelmässigen Astigmatismus so entstanden denken, dass auf ein emmetropisches Auge eine brechende Schicht, sei es Glas oder Hornhautsubstanz oder Linsensubstanz, aufgelagert ist, die in einem Meridian stärker gekrümmt ist, als in dem anderen.

Bevor ich diese Versuche anstellte, machte ich folgende Überlegung: Ich halte ein cylindrisches Concavglas so vor mein emmetropisches Auge, dass die Wirkung des Glases die auf den vertikalen Meridian des Auges fallenden Strahlen trifft, d. h. die cylindrische Schlifffläche horizontal gestellt. In diesem Falle scheint eine Ausgleichung der hergestellten Refraktionsanomalie in zweierlei Weise möglich; erstens muss ich, geleitet durch die obigen Versuche, die horizontalen, nicht gebrochenen Strahlen durch ein um seine vertikale Axe gedrehtes sphärisches Zerstreuungsglas ebenso divergent machen können, wie die durch das cylindrische Glas divergent gemachten vertikalen Strahlen, so dass, wenn dieses geschehen ist, die Akkommodation im Stande sein

wird, alle durch die beiden Gläser fallenden, gleich divergent gemachten Strahlen zu deutlichen Bildern auf der Netzhaut zu vereinigen. Zweitens aber kann ich die durch das Cylinderglas divergent gemachten vertikalen Strahlen wieder weniger divergent machen und sogar ihre Divergenz ganz aufheben durch ein Sammelglas, welches ich um seine horizontale Axe drehe, und auch in diesem Falle müssen gleich deutliche Bilder von den vertikalen und horizontalen Linien auf der Netzhaut entstehen. Diese Überlegung wurde durch die nachfolgenden Versuche vollkommen bestätigt.

Ich setzte zuerst ein cylindrisches concaves Glas von 1 D in den Apparat und sah durch dieses das Fadenkreuz an, nach kurzer Zeit überwand mein Auge die so erreichte verschiedene Brechung in den verschiedenen Meridianen, so dass ich die Linien in beiden Meridianen gleich deutlich sah.[1]) Dasselbe Verhalten zeigte sich auch noch bei dem cylindrischen Zerstreuungsglas von 1,5 D. Nahm ich aber das nächste Glas von 2 D, so konnte ich, auch wenn ich längere Zeit durch dasselbe sah, doch die Linien nicht alle gleich deutlich sehen, ein Zeichen, dass meine Linse den an sie gestellten Anforderungen, durch stärkere Krümmung in einem Meridian die Wirkung des cylindrischen Glases aufzuheben, nicht mehr entsprechen konnte. Ich stellte dieses Glas nun so in den Apparat, dass die cylindrische Schlifffläche horizontal stand und sah die Fadenkreuze durch dasselbe an. Alsdann erschienen beim ersten Anblick nur die horizontalen Linien deutlich, strengte ich aber das Auge an, um die vertikalen deutlich zu sehen, so gelang mir dies auch, aber die horizontalen waren dann undeutlich. — Um die Linien in beiden Meridianen nun zu gleicher Zeit

[1]) Siehe Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde, Jahrgang 1889, August-Heft. „Neue Versuche über anisomorphe Akkommodation" von Dr. R. Ahrens und A. Ahrens.

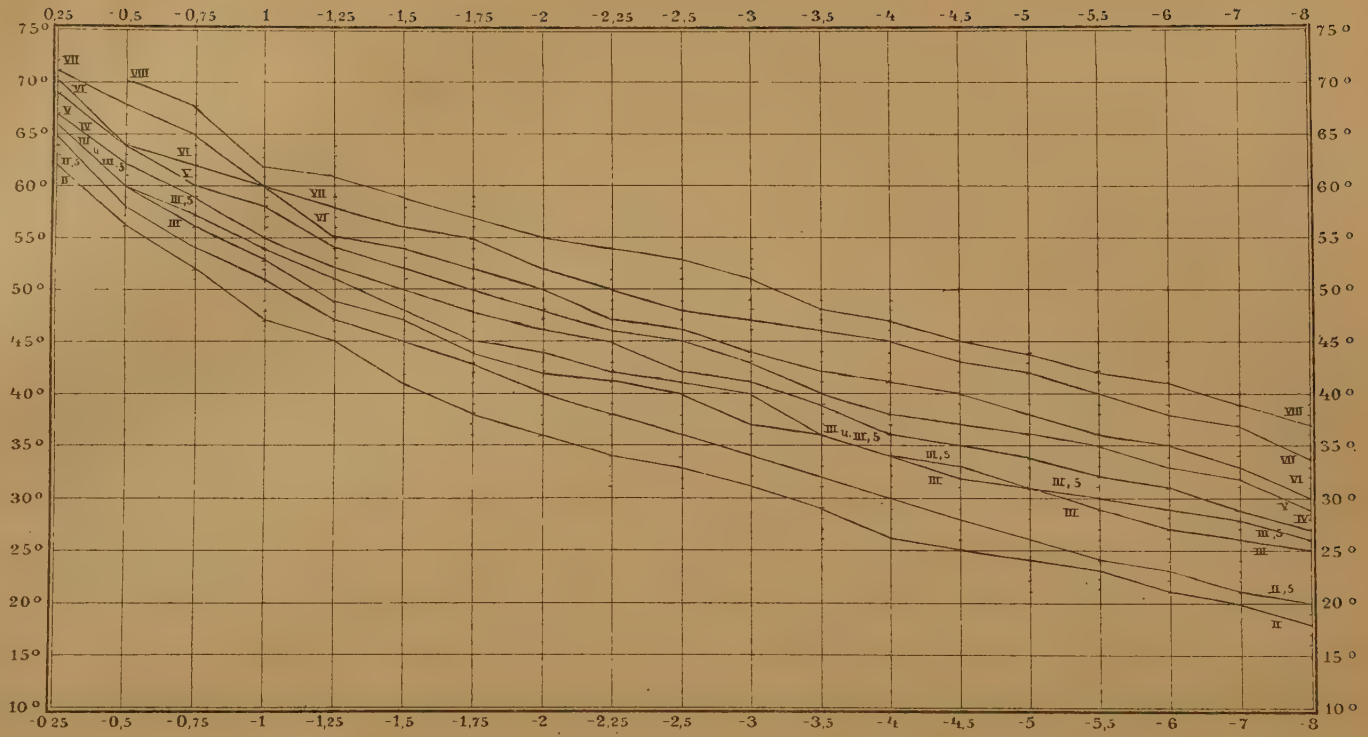
deutlich zu sehen, setzte ich den oben gemachten Überlegungen entsprechend ein sphärisches Zerstreuungsglas in das drehbare Gestell und drehte dieses um seine vertikale Axe. Durch die Drehung mussten die Strahlen, welche von den horizontalen

	C—2	C—2,5	C—3	C—3,5	C—4	C—5	C—6	C—7	C—8
— 0,25	62	65	66	66	67	69	70	71	—
— 0,5	56	58	60	60	62	64	64	68	70
— 0,75	52	54	56	57	59	60	62	65	68
— 1	47	51	53	54	55	58	60	60	62
— 1,25	45	47	49	51	52	54	55	58	60
— 1,5	41	45	47	48	50	52	54	56	59
— 1,75	38	43	44	45	48	50	52	55	57
— 2	36	40	42	44	46	48	50	52	55
— 2,25	34	38	41	42	45	46	47	50	54
— 2,5	33	36	40	41	42	45	46	48	53
— 3	31	34	37	40	41	43	44	47	51
— 3,5	29	32	36	36	39	40	42	46	48
— 4	26	30	34	34	36	38	41	45	47
— 4,5	25	28	32	33	35	37	40	43	45
— 5	24	26	31	31	34	36	38	42	44
— 5,5	23	24	29	30	32	35	36	40	42
— 6	21	23	27	29	31	33	35	38	41
— 7	20	21	26	28	29	32	33	37	39
— 8	18	20	25	26	27	29	30	34	37

Linien kamen, divergenter werden, während die von den vertikalen kommenden, welche durch das Cylinderglas divergent gemacht wurden, zur Seite verschoben aber in vertikaler Ebene nicht divergenter gemacht werden. Diese Verschiebung zur Seite, d. h. die

Bogen IV.

Curve 5.



Divergenz in horizontaler Ebene, welche die Strahlen der vertikalen Linien erlitten, war effektlos wegen der in allen Meridianen jetzt stattfindenden stärkeren Krümmung der Linse. Folglich kam allein in Betracht die durch die Drehung bewirkte stärkere Divergenz, welche die Strahlen horizontaler Linien in horizontaler Ebene erlitten. Somit musste ich bei der Drehung an einen Punkt kommen, an welchem die Divergenz, welche die von den horizontalen Linien kommenden Strahlen durch die Drehung des sphärischen Glases erlitten, gleich war der Divergenz, welche die von den vertikalen Linien kommenden Strahlen durch das Cylinderglas erlitten. An diesem Punkte mussten die Linsen in beiden Meridianen gleich deutlich erscheinen; dieser Punkt ist der in der obenstehenden Tabelle angegebene.

Wie oben gezeigt ist, werden Strahlen, welche durch ein schräggestelltes Zerstreuungsglas fallen, um so divergenter, je schräger das Glas steht und je stärker dasselbe ist, folglich musste:

1) bei gleich starken sphärischen Zerstreuungsgläsern die Drehung bis zum Punkte der gleichen Deutlichkeit in beiden Meridianen um so grösser sein, je stärker das vorgesetzte Cylinderglas war;
2) musste bei gleich starken cylindrischen Gläsern die Drehung um so geringer sein, je stärker die gedrehten sphärischen Zerstreuungsgläser waren. Siehe Bogen IV, Curve 5.

Eine weitere Beobachtung machte ich bei diesen Versuchen, welche theoretisch leicht erklärlich ist; kam ich nämlich in der Reihe der Versuche an das sphärische Glas, welches die gleiche Nummer trug wie das vorgesetzte Cylinderglas, d. h. als der Grad des Astigmatismus betrug, so war der Drehungswinkel, an dem die Linien in beiden Meridianen gleich

deutlich waren, immer derselbe; — er schwankt zwischen 37° und 35°, eine Differenz, die ich als Beobachtungsfehler bezeichnen möchte. — Dieses Verhalten erklärt sich auf folgende Weise: Es verhält sich die Wirkung des Cylinderglases — 8 zu der Wirkung des sphärischen Glases — 8 genau so wie die Wirkung des Cylinderglases — 6 resp. — 3 zu der Wirkung des sphärischen Glases — 6 resp. — 3, und deshalb muss auch der Grad der Schrägstellung derselbe sein, wenn ich Cylinderglas — 8 durch sphärisches Glas — 8 korrigiere oder wenn ich Cylinderglas — 6 resp. — 3 durch sphärisches Glas — 6 resp. — 3 korrigiere.

Zufälliger Weise war mir Gelegenheit geboten, diese letzte Beobachtung auch am natürlich astigmatischen Auge zu prüfen. Einer meiner Kollegen besitzt einen regelmässigen Astigmatismus; seine Hornhaut ist im vertikalen Meridian stärker gekrümmt als im horizontalen, und gebraucht er zur Korrektion dieses Hornhautastigmatismus Cylinderglas — 5 D. Diesen Herrn liess ich durch den von mir gebrauchten Astigmometer sehen und stellte in die horizontale drehbare Axe ein sphärisches Glas von 5 D. Um durch dieses Glas die Linien in beiden Meridianen gleich deutlich zu sehen, stellte er dasselbe in einen Winkel von 36° gegen die horizontale Ebene geneigt, ein Beweis, dass die von mir bei künstlichem Astigmatismus gemachte Beobachtung auch für ein natürliches astigmatisches Auge richtig ist.

Bis jetzt hatte ich die Refraktionsanomalie eines regelmässig astigmatischen Auges dadurch korrigiert, dass ich dasselbe durch ein sphärisches Concavglas sehen liess, welches um die Axe gedreht war, die senkrecht gerichtet ist zu dem stärker brechenden Meridian des astigmatischen Auges; es folgten nun die Versuche, welche darthun sollten, dass ich auch gleich deutliche Bilder von allen Linien erhielte,

wenn die ungleiche Brechung, welche ein cylindrisches Concavglas erzeugt, aufhebe dadurch, dass ich die durch jenes Glas hervorgerufene grössere Divergenz in einem Meridian abstumpfe durch ein schräggestelltes sphärisches Convexglas; wenn ich also ein cylindrisches Concavglas mit der Schlifffläche horizontal gestellt vorsetzte und die Linien durch ein um seine horizontale Axe gedrehtes sphärisches Convexglas ansehe. Die Versuche entsprachen auch den oben gemachten Überlegungen, nur war es nicht

	C–2	C–2,5	C–3	C–3,5	C–4	C–5	C–6	C–7	C–8
+0,25	64	66.	67	68	69	70	71	72	74
+0,5	56	58	60	61	62	64	65	66	67
+0,75	51	53	55	56	60	61	63	64	65
+1	46	48	52	53	56	58	—	—	—

möglich, stärkere Sammellinsen als 1 D zur Korrektion zu verwenden, da bei solchen stärkeren Nummern die Linien nicht mehr gleich deutlich gemacht werden konnten. Diese Unmöglichkeit ist leicht einzusehen, wenn man sich in Erinnerung an die Wirkung schräggestellter sphärischer Convexgläser die Richtung der Strahlen in unserem Falle konstruiert: Die in vertikaler Ebene auffallenden Strahlen werden durch das Cylinderglas divergent gemacht, diese Divergenz wird aufgehoben durch das sphärische Convexglas + Schrägstellung desselben. Diese Faktoren wirken aber auch auf die in horizontaler Ebene auffallenden, nicht divergent gemachten Strahlen und machen dieselben so stark konvergent, so dass sich das Auge dieser starken Konvergenz nicht mehr anpassen kann; wenn ich also bei der Schrägstellung des sphärischen Glases an den Punkt gekommen bin, wo die Divergenz der in vertikaler Ebene auffallenden Strahlen aufgehoben ist, so sind die in horizontaler Ebene auffallenden Strahlen schon stark konvergent,

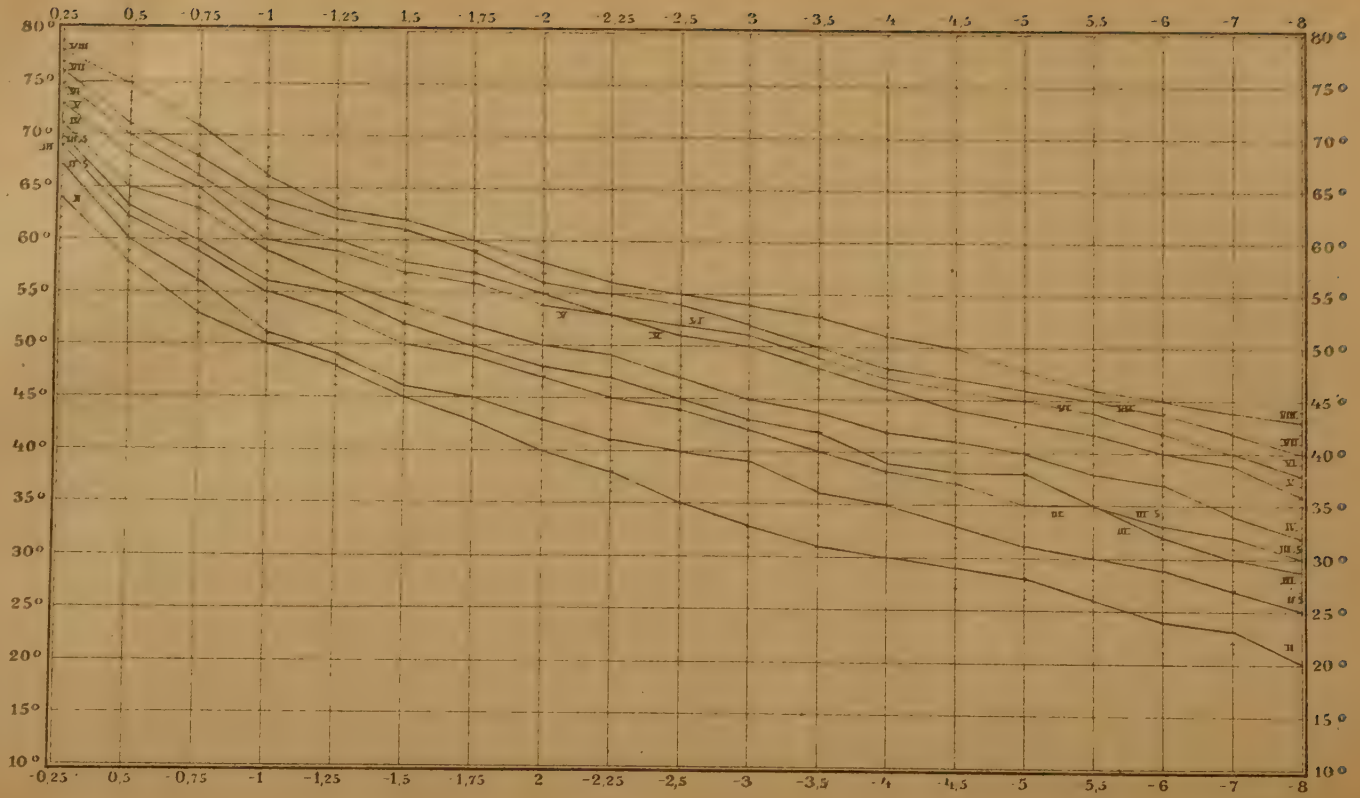
und folglich können keine gleich deutlichen Bilder von allen Linien entstehen. Nur in dem Falle ist es möglich, wenn bei schwachen sphärischen Convexgläsern, wo durch die Drehung die Divergenz der in vertikaler Ebene auffallenden ziemlich aufgehoben ist, dabei aber die Konvergenz der in horizontaler Ebene auffallenden noch nicht so stark geworden ist, dass das Auge sich ihr nicht mehr anpassen kann.

Wie bei der vorigen Versuchsreihe ist auch bei dieser abzulesen, dass bei gleichen sphärischen Gläsern die Drehung bis zum Punkte der gleichen Deutlichkeit in beiden Meridianen um so stärker sein muss, je stärker das cylindrische Glas ist, und andererseits, dass bei gleichen cylindrischen Gläsern die Drehung um so stärker sein muss, je schwächer das sphärische Glas ist. Siehe auch die graphische Darstellung auf Bogen IV, Curve 6. Durch diese Versuche ist also der Beweis erbracht, dass man die Wirkung eines cylindrischen Convexglases aufheben kann durch ein sphärisches Convexglas, welches man um die Axe dreht, die parallel ist der Richtung der cylindrischen Schlifffläche des ersten Glases.

Ich ging jetzt über zu der Vergleichung der Wirkung convexcylindrischer Gläser mit der Wirkung sphärischer Concavgläser. Diese Reihe der Versuche ist im Grunde genommen nur eine Wiederholung derjenigen, bei welchen ich ein cylindrisches Concavglas durch ein sphärisches Concavglas korrigierte; bei jenen machte ich künstlich einen Meridian des Auges zum schwächer brechenden und korrigierte dann die Brechung des zum stärker brechenden gewordenen anderen Meridians durch sphärische Concavgläser, bei diesen indessen machte ich direkt einen Meridian des Auges zum stärker brechenden und korrigierte dann dessen Brechung ebenfalls durch sphärische Concavgläser. Folglich war in dem letzten Falle die Brechung der Strahlen, welche auf den

Bogen V.

Curve 7.



künstlich zum stärker brechend gemachten Meridian fielen, eine stärkere wie in dem ersten, und folglich musste auch die korrigierende Schrägstellung der sphärischen Gläser in diesem Falle eine grössere sein. Siehe Bogen V, Curve 7.

Auch hier machte ich die Strahlen, welche auf den stärker brechenden Meridian fielen, also bei den jetzigen Versuchen den vertikalen, weniger konvergent durch ein schräggestelltes sphärisches Concavglas, welches ich aber nicht, wie oben, um die vertikale, sondern um die horizontale Axe drehte. Die andere theoretische Möglichkeit, die ungleiche Brechung in den verschiedenen Meridianen aufzuheben dadurch, dass ich die in horizontaler Ebene auffallenden Strahlen durch ein sphärisches Convexglas gehen lasse, welches um seine vertikale Axe gedreht ist, kann in praxi wegen der Konstruktion des Auges nicht wohl durchgeführt werden. Denn es konnten hierbei nur cylindrische Gläser von nicht mehr als + 1.25 D zur Verwendung kommen, diese überwindet man nach kurzer Zeit aber auch ohne schräggestelltes sphärisches Convexglas durch das blosse Auge mit Hülfe des akkommodativen Astigmatismus; höhere Nummern von cylindrischen Convexgläsern aber erzeugen eine so starke Convergenz in einem Meridian, dass, wenn man die Brechung in dem anderen Meridian durch schräggestellte sphärische Convexgläser ebenso stark gemacht hat, das Auge die starke Convergenz nicht mehr zu überwinden im Stande ist.

Somit konnte ich allein die Korrektion von cylindrischen Convexgläsern durch schräggestellte sphärische Concavgläser vornehmen. Diese Korrektion gelang auch bei allen cylindrischen Gläsern durch jedes sphärische Glas. Und zwar gelten etwas modifizirt auch hier die oben schon gefundenen Sätze, dass einerseits bei gleichen sphärischen Concav-

gläsern die Drehung derselben bis zum Punkte der gleichen Deutlichkeit in beiden Meridianen um so grösser sein muss, je stärker das zu korrigierende cylindrische Convexglas ist, und andererseits, dass bei gleichen cylindrischen Convexgläsern die Drehung der

	C+2	C+2,5	C+3	C+3,5	C+4	C+5	C+6	C+7	C+8
— 0,25	64	67	69	70	71	73	75	76	78
— 0,5	57	60	62	63	65	68	70	71	75
— 0,75	53	56	59	60	63	65	66	68	71
— 1	50	51	55	56	59	60	62	64	66
— 1,25	48	49	53	55	56	59	60	62	63
— 1,5	45	46	50	52	54	57	58	61	62
— 1,75	43	45	49	50	52	56	57	59	60
— 2	40	43	47	48	50	54	55	56	58
— 2,25	38	41	45	47	49	53	53	55	56
— 2,5	35	40	44	45	47	51	52	54	55
— 3	33	39	42	43	45	50	51	52	54
— 3,5	31	36	40	42	44	48	49	50	53
— 4	30	35	38	39	42	46	47	48	51
— 4,5	29	33	37	38	41	44	46	47	50
— 5	28	31	35	38	40	43	45	46	48
— 5,5	26	30	35	35	38	42	44	45	46
— 6	24	29	32	33	37	40	42	44	45
— 7	23	27	30	32	34	39	40	42	44
— 8	20	25	29	30	32	36	38	40	43

sphärischen Concavgläser um so geringer sein muss, je stärker das sphärische Glas ist. Ferner musste auch hier der Drehungswinkel ein konstanter sein, wenn ein cylindrisches Glas durch das entsprechende, gleich nummerierte sphärische Glas korrigiert wurde.

Dieser Winkel schwankt allerdings zwischen 40° und 43°, eine Differenz, die ebenso wie oben wohl als ein Beobachtungsfehler angesehen werden muss.

Hiermit schliesse ich die Reihe der Versuche, und stelle die gefundenen Resultate zum Schluss noch einmal kurz zusammen:

I. Sehe ich durch ein schräggestelltes sphärisches Concavglas ein dreifaches Fadenkreuz an, so werden an einem Punkte der Drehung die Linien undeutlich, welche gleichgerichtet sind der Drehungsaxe des Glases; die Drehung bis zum Punkte der Undeutlichkeit ist um so geringer, je stärker das Concavglas ist.

II. Sehe ich durch ein schräggestelltes sphärisches Convexglas ein dreifaches Fadenkreuz an, so werden an einem Punkte der Drehung die Linien undeutlich, welche gleichgerichtet sind der Drehungsaxe des Glases; die Drehung bis zum Punkte der Undeutlichkeit ist um so geringer, je stärker das Convexglas ist.

III. Ein myopisches Auge erhält, wenn es durch ein schräggestelltes sphärisches Concavglas, welches schwächer ist als der Grad der Myopie, ein dreifaches Fadenkreuz ansieht, deutliche Bilder von den Linien, welche gleichgerichtet sind der Drehungsaxe des Glases; ist das schräggestellte Concavglas stärker, als der Grad der Myopie, so werden die Bilder der Linien undeutlich, welche gleichgerichtet sind der Drehungsaxe des Glases.

IV. Ein hypermetropisches Auge erhält, wenn es durch ein schräggestelltes sphärisches Convexglas ein dreifaches Fadenkreuz in einiger Entfernung ansieht, an einem Punkte undeutliche Bilder von den Linien, welche gleichgerichtet sind der Drehungsaxe des Glases.

V. Man kann jeden regelmässigen Astigmatismus korrigieren durch schräggestellte sphärische Gläser und zwar auf folgende Weise:

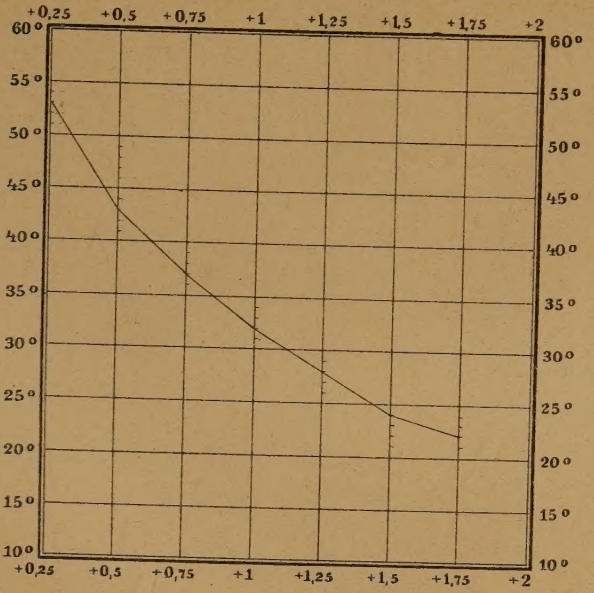
a) Entweder macht man die Strahlen, welche auf den schwächer gekrümmten Meridian fallen, durch ein sphärisches Convexglas konvergenter, so dass sie nach ihrem Durchtritt durch dasselbe die gleiche Brechung erleiden wie die Strahlen, welche durch den stärker gekrümmten Meridian gehen; dies geschieht durch Drehung des sphärischen Convexglases um die Axe, welche zu der Richtung des schwächer gekrümmten Meridians senkrecht steht.

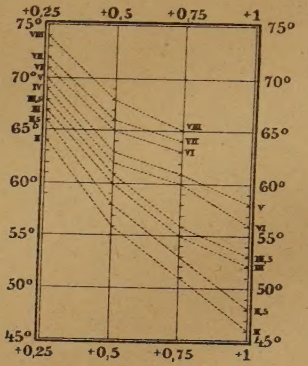
Oder aber:

b) Man macht die Strahlen, welche auf den stärker gekrümmten Meridian fallen, durch ein schräg gestelltes, sphärisches Concavglas weniger konvergent resp. hebt ihre Konvergenz ganz auf, so dass sie nach ihrer Brechung durch dieses dieselbe Ablenkung erleiden wie die Strahlen, welche durch den schwächer gekrümmten Meridian fielen; dies geschieht durch Drehung eines sphärischen Concavglases um die Axe, welche gleichgerichtet ist dem schwächer gekrümmten Meridian.

Bogen I.

Curve 2.



Bogen IV.

Curve 6.